



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OBRÁBĚNÍ ROTAČNÍ SOUČÁSTI NA UNIVERZÁLNÍM STROJI

MACHINING OF ROTATING COMPONENTS ON A UNIVERSAL MACHINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Martin MOTL

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Milan KALIVODA

BRNO 2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Motl

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Obrábění rotační součásti na univerzálním stroji

v anglickém jazyce:

Machining of Rotating Components on a Universal Machine

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod.
2. Rozbor rotační součásti.
3. Navržení technologie pro univerzální stroje.
4. Vypracování TPV dokumentace.
5. Technicko-ekonomické vyhodnocení.
6. Diskuze.
7. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Technologický projekt dokládající možnosti technologie na univerzálních strojích. Provedení TPV dokumentace na úrovni středně velké strojírenské firmy..

Seznam odborné literatury:

1. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
2. ZEMČÍK, Oskar. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.
3. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. Základy konstruování. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2005. ISBN 80-7204-405-2.
4. PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.
5. Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.
6. LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 21.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem technologie výroby rotační součásti na univerzálních strojích. Hlavním bodem této práce je kompletní řešení technologické přípravy výroby součásti tvaru hřídele. Dalším bodem práce je návrh použitých strojů a nástrojů pro výrobu. Dále je uvedeno technicko-ekonomické vyhodnocení výroby a na závěr je uveden popis výroby vzorku součásti.

Klíčová slova

univerzální stroj, hřídel, nástroj, soustruh, technologický postup, obrábění

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the proposal manufacturing technology of a rotary component on a universal machine. The main point of this work is a full technological preparation of production of the component shape of shaft. In the following paragraph is proposal used machines and tools for production. Below is a technological and economic evaluation of production and finally is a description of production of sample component.

Key words

universal machine, shaft, tool, lathe, technological procedure, machining

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MOTL, Martin. *Obrábění rotační součásti na univerzálním stroji*. Brno 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 41 s. 2 přílohy. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Obrábění rotační součásti na univerzálním stroji** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Martin Motl

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi z VUT v Brně za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Dále děkuji Milanu Rusiňákovi z VUT v Brně za cenné připomínky a rady při vypracování vzorku hřídele.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	8
1 ROZBOR ROTAČNÍ SOUČÁSTI.....	9
1.1 Popis vyráběné součásti	9
1.2 Použití součásti.....	10
1.3 Materiál součásti	10
1.4 Technologičnost konstrukce součásti.....	11
1.5 Podmínky výroby	13
2 NAVRŽENÍ TECHNOLOGIE PRO UNIVERZÁLNÍ STROJE.....	14
2.1 Návrh polotovaru	14
2.2 Návrh strojů.....	15
2.3 Návrh nástrojů	21
2.4 Návrh pomůcek	23
3 TPV DOKUMENTACE	25
3.1 Výkres součásti	25
3.2 Technologický postup výroby.....	25
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	27
4.1 Výpočet spotřeby materiálu	27
4.2 Výpočet ceny spotřeby materiálu.....	29
5 VÝROBA VZORKU HŘÍDELE.....	32
5.1 Výroba součásti.....	32
5.2 Zhodnocení výroby vzorku	34
6 DISKUZE	35
ZÁVĚR.....	36
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	37
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	39
SEZNAM PŘÍLOH.....	41

ÚVOD

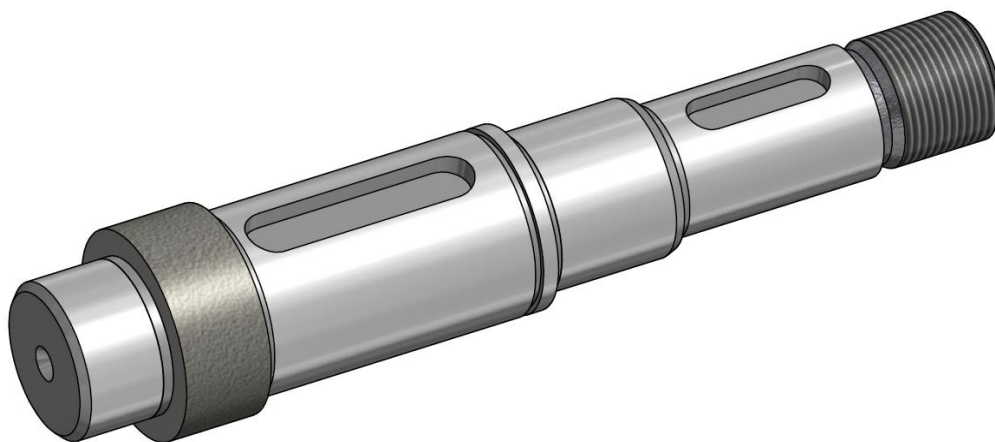
Tato bakalářská práce se zaměřuje na výrobu hřídele na univerzálních strojích. Hřídel bude vyráběna třemi hlavními základními metodami třískového obrábění, a to soustružením, frézováním a broušením. Soustružení bude probíhat na klasickém univerzálním soustruhu, frézování na klasické vertikální frézce a broušení na klasické univerzální hrotové brusce. Důvodem sepsání této práce bylo přiblížení se k problematice tvorby technologických postupů a s nimi souvisejících náležitostí. Úkolem bylo vytvořit kompletní výrobní dokumentaci pro výrobu hřídele na klasických univerzálních strojích. Jako materiál použitý pro výrobu hřídele bude zvolena nelegovaná ocel třídy 12, která splňuje požadavky řešené hřídele. Vyrábět by se měla v počtu 20 kusů.

První část práce se zabývá zhodnocením vyráběné hřídele, jako je její podrobný popis, přiblížení použití a tvarová a rozměrová náročnost. V další části práce jsou zvoleny odpovídající stroje, nástroje a pomůcky potřebné pro výrobu. Je zde i navrhnut a vybrán z několika variant polotovaru, ze kterého bude realizována výroba hřídele. Další, třetí, část se zabývá tvorbou výrobní dokumentace. Hlavním dokumentem pro výrobu je výkres součásti, dalším pomocným dokumentem je technologický postup výroby dané hřídele. Ve čtvrté části jsou hlavním bodem výpočty, je v ní vypočteno kolik bude potřeba nakoupit materiálu pro vyrobení dvaceti kusů hřídelí a jaká bude celková váha a cena kupovaného materiálu.

1 ROZBOR ROTAČNÍ SOUČÁSTI

1.1 Popis vyráběné součásti

Součástí, která se vyrábí, je hřídel (obr. 1.1) o největším neobráběném průměru 40, o celkové délce 186,5 a o hmotnosti 1,064 kg, která byla zjištěna z vytvořeného modelu pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2015 viz obrázek 1.2, výkres hřídele je přiložen v příloze číslo 1. Na hřídeli se nachází celkem pět obráběných průměrů a jeden neopracovaný průměr dle původního polotovaru. Čtyři ze zmíněných průměrů jsou broušené a na jednom je vyříznut závit. Na dvou broušených průměrech jsou vyfrézovány drážky pro pero. Na největším broušeném průměru je zhotoven zápich. Dále jsou na hřídeli vyrobeny z obou čel středící důlky. Na všech broušených průměrech v místě přechodu na větší průměr jsou z technologických důvodů umístěny zápichy.



Obr. 1.1: Zobrazení hřídele.

Model hřídele iVlastnosti

Obecné | Souhrn | Projekt | Stav | Uživatelské | Uložit | Fyzikální

Tělesa
Součást Aktualizovat

Materiál
Ocel, nelegovaná Schránka

Hustota 7,850 g/cm³ **Požadovaná přesnost** Velmi vysoké

Obecné vlastnosti

		Těžiště*	
Hmotnost	1,064 kg (Relativní ch)	X	-0,271 mm (Relativní
Povrch	21604,057 mm ² (Re	Y	0,000 mm (Relativní c
Objem	137540,050 mm ³ (R	Z	78,800 mm (Relativní

Obr. 1.2: Tabulka výpočtu hmotnosti.

1.2 Použití součástí

Dva broušené průměry 30k6 jsou určeny pro nalisování ložisek, přičemž na jednom z nich bude také nasazen hřídelový těsnící kroužek. Další dva broušené průměry 35h8 a 25h8 s pery jsou určeny pro usazení převodových kol. Uvnitř převodové skříně, na větším ze dvou zmiňovaných průměrů, bude nasazeno ozubené kolo a zajištěno proti posouvání v axiálním směru pojistným kroužkem. Na menším průměru, mimo převodovou skříň, bude nasazeno řemenové kolo a zajištěno maticí o velikosti závitu M24x1,5 s použitím pružné podložky s obdélníkovým průřezem. Středící důlky A3,15 na obou čelních plochách jsou určeny pro pomocné upnutí při soustružení a pro následné upnutí mezi hroty při broušení.

1.3 Materiál součástí

Součást je vyráběna z konstrukční ušlechtilé uhlíkové oceli 12 050. Další způsoby značení oceli jsou uvedeny v tabulce 1.1. Ocel je uklidněná a je u ní zaručeno kompletní chemické složení, které je uvedeno v tabulce chemického složení (tab. 1.2), svařitelnost oceli je obtížná. Tato ocel je vhodná k zušlechťování a k povrchovému kalení, dle tabulky tepelného zpracování (tab. 1.3). Použitelná pro ozubená kola, čepy, šrouby, méně namáhané hřídele, ojnice, klikové hřídele čerpadel, lisů a pro velké výkovky [1].

Tab. 1.1: Způsoby značení oceli [1].

Způsob značení	Značka
Označení oceli ke tváření dle ČSN 42 0002 : 78	12 050
Označení značkou dle ČSN EN 10027-1 : 06	C45
Číselné označení dle ČSN EN 10027-2 : 95	1.0503

Tab. 1.2: Chemické složení oceli 12 050 [2].

Ocel 12 050	Chemické složení tavby v hmotnostních %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
	0,42 - 0,50	0,40	0,50 - 0,80	0,045	max. 0,045	max. 0,40	max. 0,10	max. 0,40

Tab. 1.3: Tepelné zpracování oceli 12 050 [3].

Tepelné zpracování	Teploty
Kování	1100 až 800 °C
Normalizační žíhání	820 až 850 °C
Žíhání na měkko	680 až 720 °C
Kalení do vody	790 až 830 °C
Kalení do oleje	800 až 840 °C
Popouštění	530 až 670 °C

1.4 Technologičnost konstrukce součásti

Zhodnocení technologičnosti konstrukce je prováděno proto, abychom zjistili, zda je součást vyrobitelná a jaká by byla její nejvýhodnější výroba. Jako ukazatelé technologičnosti jsou:

- tvarová náročnost,
- obrobitelnost,
- přesnost rozměrů,
- jakost povrchu.

Tvarová náročnost

Tvarová náročnost je posuzována proto, aby se mohla vyřešit otázka, zda součást bude vyrobitelná a také z důvodu určení požadovaného nevýhodnějšího polotovaru pro výrobu. Jedním z dalších důvodů posuzování tvarové náročnosti je volba vhodných obráběcích strojů. Zda bude možné použít univerzálních klasických strojů, nebo využít stroje počítačem řízené. Řešená hřídel v této práci není nijak zvlášť tvarově složitá a nemá ani příliš velké rozdíly v jednotlivých průměrech, z toho důvodu nebude nutné použití polotovaru, který je před soustružením tvarově, podle součásti, předhotoven.

Obrobitelnost

Obrobitelnost materiálu závisí především na jeho vlastnostech, jednak fyzikálních, ale také i chemických. Obrobitelnost je schopnost daného materiálu být zpracován třískovým i beztřískovým obráběním. Posuzuje se v souvislosti s metodami použitými při obrábění a použitým materiálem obráběcího nástroje. Obrobitelnost ocelí se určuje dle chemického složení a dle mechanických a fyzikálních vlastností oceli. V následující tabulce 1.4 jsou uvedeny základní mechanické vlastnosti použitého materiálu 12 050.1 pro výrobu dané hřídele. Obrobitelnost zvoleného materiálu je dobrá, dle normativu 14b, lze tedy použít standardní nástroje, stroje a postupy při obrábění.

Tab. 1.4: Vlastnosti materiálu 12 050.1 [4].

Mechanické vlastnosti		
R_m	$R_{e \text{ min.}}$	Tvrđost
min. 530 MPa	305 MPa	max. 225 HB

Přesnost rozměrů

Přesnost rozměrů se odvíjí od požadavků na funkci výrobku a od vzájemného použití s jinými součástmi, vzájemné uložení, tvořící například montážní celek. Přesnost rozměrů vyráběných součástí volí konstruktér dle jejich vzájemného uložení, které je nezbytné znát pro určení přesnosti u požadovaného rozměru. Konkrétní hodnoty mezních úchylek od jmenovitých rozměrů jsou vyhledávány ve strojnických tabulkách podle velikosti jmenovitého rozměru, ke kterému mezní úchyly požadujeme.

Na řešené hřídeli se nacházejí rozměry tolerované pomocí Soustavy tolerancí a uložení, která využívá všechna malá i velká písmena abecedy. Malá písmena jsou používána pro

označování vnějších rozměrů a velká písmena pro označování vnitřních rozměrů, hodnoty těchto tolerancí jsou udány ve strojnických tabulkách dle normy ČSN EN 20286-1-2 (01 4201). Na hřídeli jsou použity i rozměry, které mají tolerovaný rozměr dle Všeobecných tolerancí, které jsou rovněž předepsány ve strojnických tabulkách dle normy ČSN ISO 2768-1-2 (01 4240). Jako další variantou předepisování tolerancí rozměrů, jsou tolerance přímo předepsané na výkrese u jednotlivých kót [4].

Tolerance použité na výkrese dané hřídele jsou uvedeny v níže uvedených dvou tabulkách (tab. 1.5 a tab. 1.6). Tabulky obsahují mezní úchytky rozměrů tolerovaných dle Soustavy tolerancí a uložení a dle Všeobecných tolerancí.

Tab. 1.5: Úchytky použitých tolerancí dle Soustavy tolerancí a uložení [4].

Soustava tolerancí a uložení (hodnoty v mm)			
Jmenovitý rozměr	Horní mezní úchylka	Dolní mezní úchylka	Toleranční pole
$\phi 30\text{ k}6$	+0,015	+0,002	0,013
$\phi 35\text{ h}8$	0	-0,039	0,039
$\phi 25\text{ h}8$	0	-0,033	0,033
$33\text{ h}12$	0	-0,25	0,25
$1,6\text{ H}13$	+0,14	0	0,14
$8\text{ P}9$	-0,015	-0,051	0,036
$10\text{ P}9$	-0,015	-0,051	0,036

Tab. 1.6: Úchytky použitých tolerancí dle Všeobecných tolerancí [4].

Všeobecné tolerance (hodnoty v mm)			
Třída přesnosti „m“ (střední)			
Jmenovitý rozměr	Horní mezní úchylka	Dolní mezní úchylka	Toleranční pole
$\phi 21,7$	+0,2	-0,2	0,4
$\phi 40$	+0,3	-0,3	0,6
1,5	+0,2	-0,2	0,4
2	+0,2	-0,2	0,4
2,5	+0,1	-0,1	0,2
4	+0,1	-0,1	0,2
7	+0,2	-0,2	0,4
24,5	+0,2	-0,2	0,4
20°	$+0^\circ 30'$	$-0^\circ 30'$	1°
30°	$+0^\circ 30'$	$-0^\circ 30'$	1°
45°	$+0^\circ 30'$	$-0^\circ 30'$	1°
R0,8	+0,2	-0,2	0,4

Jakost povrchu

Jakost povrchu se liší od způsobu obrábění, jako je frézování, soustružení, broušení, atd. Pro požadovanou přesnost rozměru je předepsána určitá struktura povrchu Ra, tato předepsaná hodnota je vždy mezní hranicí jakosti povrchu. Výsledná obrobená plocha může mít hodnotu struktury povrchu lepší, avšak nesmí ji mít horší. U horší struktury povrchu nelze zaručit přesnost požadovaného rozměru. Vztahy mezi strukturami povrchu Ra a stupni přesnosti předepsanými na vyráběné hřídeli jsou uvedeny v následující tabulce 1.6.

Tab. 1.6: Struktury povrchů [4].

Průměrná aritmetická úchylka profilu Ra	
Rozměr (mm)	Ra (μm)
φ 25 h8	1,6
φ 35 h8	1,6
φ 30 k6	0,4

Další struktury uvedené na výkrese jsou Ra 6,3 dovolující při frézování drážky pro pero horší strukturu čelní plochy, než je předepsána na ostatních plochách na Ra 3,2, předepisující danou strukturu pro plochy zvlášť neoznačené na výkrese.

1.5 Podmínky výroby

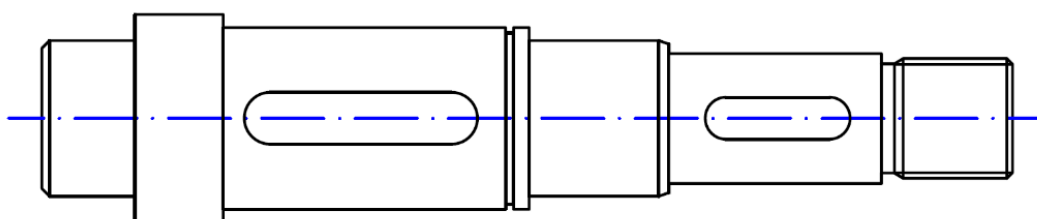
Hřídele budou vyráběny ve firmě, která se zaměřuje na kovovýrobu na klasických univerzálních strojích, jako jsou soustruhy, frézky, brusky, vrtačky apod. Vybavení firmy je celkově na dobré úrovni. Pásová pila potřebná pro dělení materiálu, je běžně používaná standartní pila s dostatečnou přesností řezu. Byla pořízena před rokem a nahradila méně přesnou předešlou pásovou pilu. Soustruh, který tato firma vlastní, je před necelými dvěma lety po celkové generální opravě, při které bylo také na soustruh namontováno digitální odměřovací zařízení pro podélný i příčný posuv. Digitální odměřovací zařízení zvyšuje přesnost výroby, ale také částečně usnadňuje a zrychluje práci na tomto soustruhu. Frézka, potřebná pro vyfrézování drážek pro pera na hřídeli, je firmou vlastněna již několik let. Taktéž na tuto frézku bylo před několika lety namontováno digitální odměřovací zařízení pro osy X, Y i Z. Celková přesnost frézky je na dobré úrovni. Hrotová bruska je také klasický obráběcí stroj, který je v majetku firmy již několik let. Vzhledem k dobrému zachovalému stavu, lze na brusce snadno dosahovat přesných broušených rozměrů i s kvalitním povrchem. Měřicí pracoviště, na které jsou součásti předávány po každé operaci, je vybaveno kvalitními přesnými měřicími nástroji a přístroji potřebnými pro výrobu rotačních i dalších druhů součástí.

Materiál, z něhož budou hřídele vyráběny, je konstrukční nelegovaná jakostní ocel. Obrobitelnost tohoto materiálu je dle normativu 14b, z tohoto důvodu není potřebné použití speciálních nástrojů a strojů, ale postačí použít nástroje běžně používané, kterými je firma vybavena, a které jsou firmou používány pro výrobu jiných druhů součástí.

2 NAVRŽENÍ TECHNOLOGIE PRO UNIVERZÁLNÍ STROJE

2.1 Návrh polotovaru

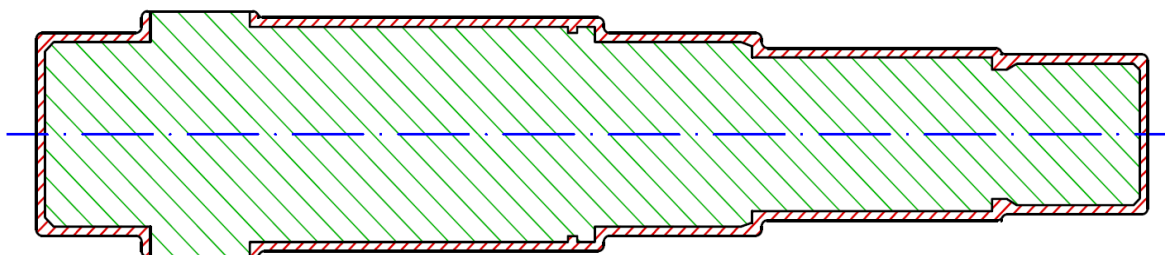
Na vyráběné součásti (obr. 2.1) je největší průměr 40, který se neopravává, a tudíž se může jako polotovar použít tyč o průměru 40. Délka hřídele je 186,5, po přidání přídavků na obrobení čel součásti, činí celková délka polotovaru 189,5. Jako polotovar pro obrábění součásti je možno vybrat polotovar z více možností. Jednou z možností by mohl být jako polotovar zvolen výkovek, další možností by bylo použití tyče kruhové tažené za studena. Jako třetí možností by mohlo být použití tyče kruhové válcované za tepla. Další možností by ještě mohl být jako polotovar použit odlitek.



Obr. 2.1: Náčrtek vyráběné hřídele.

Výkovek

Použití výkovku, jako polotovaru pro obrábění na soustruhu, je výhodné pro sériovou výrobu, pro kusovou výrobu je použití výkovku většinou nevhodné. Výkovky se používají z několika důvodů, jedním z nich je úspora materiálu při obrábění součástí tvarově rozdílných, u kterých je nutno odebírat velké množství materiálu při hrubovacím obrábění a také se zároveň zkrátí čas obrábění a zmenší se i s ním související výdaje. Další důvod použití výkovku můžou být lepší mechanické vlastnosti vyrobené součásti. Pro řešenou hřídel v této práci se z důvodu kusové výroby (20 ks hřídelí) nevyplatí z ekonomických důvodů výroba kovacího nástroje pro vykování potřebného výkovku (obr. 2.2). Z hlediska úspory materiálu při obrábění také není tato možnost efektivní. Z těchto důvodů byla možnost použití výkovku zamítnuta.



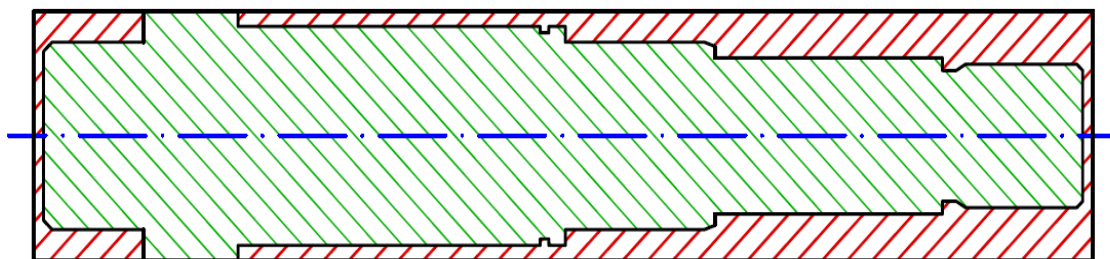
Obr. 2.2: Náčrtek výkovku.

Tyč tažená za studena

Tyč ocelová kruhová tažená za studena, EN 10278 je dodávána v taženém, loupáném nebo broušeném stavu s přesností h9 jmenovitého průměru 40, dodávané firmou Feron, a.s. Tato přesnost pro výrobu této hřídele není potřebná, ne-li naprosto zbytečná, proto byla možnost tohoto polotovaru zamítnuta. Znázornění přířezu tyče je na obrázku níže pod textem (obr. 2.3) [5].

Tyč válcovaná za tepla

Tyč ocelová kruhová válcovaná za tepla, EN 10060 je dodávána firmou Feron, a.s. s přesností $\pm 0,8$ od jmenovitého průměru 40. Tento druh polotovaru (obr. 2.3) se jeví jako ideální volbou polotovaru pro použití při obrábění dané hřídele. Materiál, ocel 12 050, bude dodán v tyčích o délce 1 m [5].



Obr. 2.3: Nákres přířezu tyče.

2.2 Návrh strojů

Při navrhování strojů pro výrobu dané součásti je nezbytné myslet na to, zda navrhovaný stroj je dostatečně veliký a má dostatečnou tuhost. Dalším hlediskem je, zda navrhovaný stroj má dostatečný výkon a potřebný rozsah otáček a posuvů pro dosažení potřebných řezných rychlostí. Stroj také volíme dle druhu výroby. Pokud je o výrobu kusovou nebo malosériovou, tak pro tu je vhodné použít stroje univerzálního typu, které jsou relativně rychle a snadno seřiditelné. Práce na univerzálních strojích je často zdlouhavá a vyžaduje častou změnu řezných podmínek, přenastavování stroje a relativně častou výměnu nástrojů. Velmi časté je také měření, které většinou, převážně u kusové výroby, výrazně prodlužuje čas výroby daných součástí. Univerzální stroje pro zkrácení výrobních časů (zvýšení produktivity) a pro zjednodušení výroby se doplňuje různým zvláštním příslušenstvím a mechanismy. Z těchto důvodů je u dělníků obsluhujících univerzální stroje zapotřebí určitá zručnost a kvalifikace, ale především také zkušenost dělníků s tímto druhem práce. U výroby sériové na univerzálních strojích trvá seřízení pro danou výrobu déle, ale následná výroba na již seřazeném stroji je rychlejší a jednodušší. Proto takto seřazené stroje mohou obsluhovat i dělníci méně kvalifikovaní. Při výrobě hromadné je nejčastější použití obráběcích poloautomatů a automatů. Seřízení těchto strojů je zdlouhavé a často vyžaduje zkušené a kvalifikované pracovníky, ale dělník, obsluhující tyto stroje následně při výrobě, jen doplňuje materiál a kontroluje průběh výroby [6].

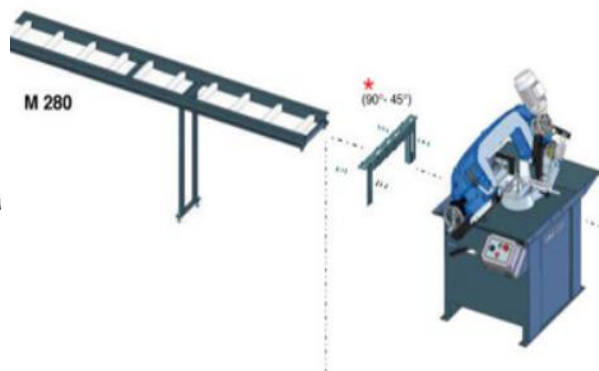
Stroje, na kterých se bude tato hřídel vyrábět, jsou klasické univerzální obráběcí stroje. Celková vybavenost dílny odpovídá požadavkům pro tuto výrobu. Pro zhotovení součásti bude zapotřebí následujících strojů:

Pásová pila – ARG 220, Pilous-pásové pily, spol. s.r.o.

Je univerzální pásová pila (obr. 2.4), která je určena pro všeobecné použití v zámečnických dílnách. Pila je osazena pilovým pásem 27x0,9mm který je vyráběn v mnoha variantách pro široké spektrum dělení materiálu. Posuv pily do řezu je prováděn vlastní vahou ramene s možností jemné plynulé regulace škrticím ventilem olejového tlumiče. Konstrukce pily umožňuje také libovolné nastavení úhlu řezu v rozmezí od 60° do 90° při stálé poloze upnutého materiálu. Konstrukce pily je robustní, tuhá a je vyráběna ze šedé litiny, což pohlcuje chvění. Výkon motoru pohánějící pilový pás je 1,4 kW a celková hmotnost pily je 250 kg, podrobnější technické údaje jsou zapsány v tabulce 2.1. Součástí této pásové pily je ještě válečkový dopravník pro tyčový materiál M 280, který je zobrazen na obrázku 2.5 [7].



Obr. 2.4: Pásová pila ARG 220 [7].



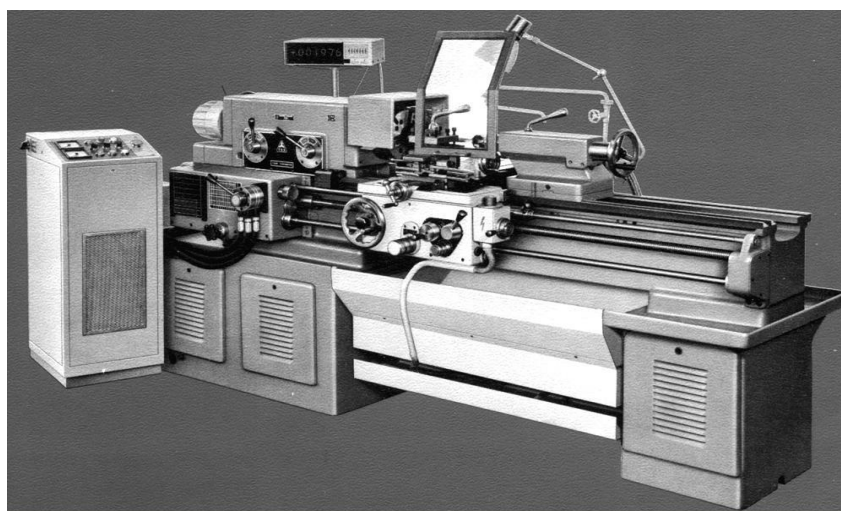
Obr. 2.5: Dopravník pásové pily [7].

Tab. 2.1: Technické parametry ARG 220 [7].

Technické parametry	
Hlavní motor	400 V / 50 Hz / 0,9/1,4 kW
Motor čerpadla	400 V / 50 Hz / 0,05 kW
Rychlost pásu	40/80 m.min ⁻¹
Pracovní výška svěráku	900 mm
Nádrž procesní kapaliny	cca 15 l
Rozměry stroje (min.)	1400 x 750 x 1400
Rozměry stroje (max.)	2000 x 1300 x 1700
Hmotnost stroje	250 kg

Univerzální soustruh - SV 18 RD, TOS Trenčín

Je univerzální hrotový soustruh (obr. 2.6 a obr. 2.7) s plynulou regulací otáček vřetene a s konstantní řeznou rychlostí. Je vhodný pro všeobecné použití v kusové i malosériové výrobě, především je určen pro obrábění ocelí a neželezných kovů. Umožňuje obrábět mimo klasických válcových ploch také kuželové plochy natočením nožových saní dle kruhové stupnice, nebo pro dlouhé mírné kužele vyosením podpěrného koníku. Další specializací je možnost výroby závitů mnoha druhů s různým stoupáním dle palcové i metrické stupnice. Základní technické parametry jsou zaznamenány v tabulce 2.2. Základní části stroje jsou lože, na nichž jsou uloženy a upevněny veškeré části stroje, jako je vřeteník, koník, suport atd. Vřeteník je skříňového tvaru, ve kterém je uloženo průchozí vřeteno na dvou kluzných ložiskách, řemenice pohánějící vřeteník je uložena na dvou vlastních valivých ložiskách z důvodu zamezení namáhání vřeteníku na ohyb od tahu řemene. Koník je uložen posuvně na podélných saních a osa výsuvné pinoly koníku je souosá s osou vřetene. Těleso koníku je na základní desce příčně přestavitelné pro již zmíněné soustružení táhlých kuželů. Suport je také uložen posuvně na podélných saních a podélně se posouvá pomocí pohybového šroubu ručně nebo strojně, příčné saně na suportu jsou také posouvány pohybovým šroubem ručně nebo strojně. Nožové saně mají možnost otáčení a posuv je zde pouze ruční. Do otáčivé nožové hlavy lze upnout 4 nástroje. Na suportu je umístěna suportová skříň, která obsahuje zařízení pro nastavení posuvů. Nutnou součástí vybavení stroje je také zvláštní příslušenství dodávané ke stroji, které zvyšuje univerzálnost použití stroje a zefektivňuje výrobu i její přesnost [8, 9].



Obr. 2.6: Univerzální soustruh SV 18 RD [9].

Tab. 2.2: Technické parametry SV 18 RD [8].

Technické parametry	
Oběžný průměr nad vodícími plochami loží	380 mm
Oběžný průměr nad suportem	215 mm
Vzdálenost mezi hroty odstupňována po 250 mm	750 až 1250 mm
Vrtání vřetena	41 mm
Kužel vřetena	metrický 50
Kužel pinoly	Morse 4

Přední konec vřetena	170 ČSN 20 1011
Šířka loží	340 mm
Průměr upínací desky	360 mm
Průměr skličidla	160, 200 mm
Čtyř-nožová hlava	80-125 mm
Největší průřez nože	22x22 mm
Zdvih pinoly koníka	120 mm
Největší váha obrobku	300 kg
Rozsah otáček vřetena: předloha 1:1 předloha 1:4	56 až 2800 min ⁻¹ . 17 až 700 min ⁻¹ .
Posuvy: podélný v rozsahu příčný v rozsahu	0,02 až 2,8 mm.ot ⁻¹ . 0,01 až 1,4 mm.ot ⁻¹ .
Stoupání vodícího šroubu	4 závity /1”
Závity: rozsah metrických závitů, počet 141 stoupání rozsah závitů v palcích, počet závitů na 1”, počet 179 rozsah závitů Diametral Pitch, počet 70 rozsah modulových závitů, počet 87	0,2 až 70 2/5 až 140 2 až 224 DP 0,2 až 35 mod.
Výkon hlavního motoru při 2 800 min ⁻¹ .	10 kW
Počet změn směru otáčení vřetena (reverzace motoru)	100 za 1 hodinu
Výkon motoru chladícího čerpadla	0,115 kW
Otáčky motoru chladícího čerpadla	2 800 min ⁻¹ .
Půdorysná plocha stroje (šířka x délka)	950 x 2 450 mm 950 x 2 700 mm 950 x 2 900 mm 950 x 3 200 mm
Půdorysná plocha elektro-skříně	510 x 390 mm
Váha stroje s normálním příslušenstvím	1 710 kg 1 780 kg 1 950 kg 2 000 kg
Váha stroje s obalem	1 740 kg 1 825 kg 2 000 kg 2 100 kg



Obr. 2.7: Univerzální soustruh SV 18 RD [10].

Frézka svislá - FA 3 V, TOS Olomouc

Je univerzální konzolová frézka (obr. 2.8) se svislý vřetenem, které je uloženo ve vřetenové naklápěcí hlavě s ručně výsuvnou pinolou s upínacím kuželem ISO 40. Tato frézka je určena pro širokou škálu frézovacích a vrtacích operací. Použití spíše v kusové, nebo malosériové výrobě. Ke stroji je možné použití různých speciálních příslušenství a přídavného zařízení, které ještě rozšíří možnosti využití stroje. Vzhledem k masivní konstrukci stroje má tato frézka přijatelně dobrou tuhost. Technické parametry frézky jsou popsány v tabulce 2.3 [11].



Obr. 2.8: Frézka svislá FA 3 V [12].

Tab. 2.3: Technické parametry FA 3 V [11].

Technické parametry	
Upínací plocha stolu	250 x 1250 mm
Pohyb stolu strojní podélný / příčný / svislý	800 / 275 / 400 mm
Kužel ve vřetenu	ISO 40
Vzdálenost spodního konce vřetena od upínací plochy stolu	0 - 450 mm
Vzdálenost osy vřetene od stojanu	300 mm
Svislá přestavitelnost vřetene (pinoly)	75 mm
Otáčky vřetene	12 stupňů ve dvou řadách 45 – 2000 min ⁻¹ a 63 – 2800 min ⁻¹
Posuvy	13 stupňů, podélné a příčné v rozsahu 14 – 900 mm.min ⁻¹ , svislé v rozsahu 4 – 250 mm.min ⁻¹
Pohon vřetene	Elektromotor 4,2 kW
Půdorysná plocha stroje	1900 x 1760 mm
Váha stroje s příslušenstvím	1600 kg

Bruska hrotová - BUA 20/450, TOS Hostivař

Je univerzální hrotová bruska (obr. 2.9), která je určena pro broušení obrobků do kulata. Obrobek může být upnut buď mezi hroty, nebo letmo ve sklíčidle či kleštině na unášecím vřeteníku. Unášecí vřeteník je uložen otočně pro broušení kuželů při upnutí letmo, pro broušení kuželů při upnutí mezi hroty se natáčí část stolu brusky, toto je vhodné pouze pro mírné kužele [13].



Obr. 2.9: Bruska hrotová BUA 20/450 [13].

Tab. 2.4: Technické parametry BUA 20/450 [13].

Technické parametry	
Oběžný průměr	200 mm
Vzdálenost hrotů	450 mm
Rozměry brusného kotouče	350 x 32 mm
Kužel ve vřetenu	Morse 4
Průměr sklíčidla	160 mm
Průměr elektromagnetické upínací desky	150 mm
Úhel nastavení vřeteníku	90°
Rozsah otáček vřetena	50 - 650 min ⁻¹
Úhel nastavení brousícího vřeteníku	Oboustranně 60 ° ve vodorovné rovině
Příčný pohyb brousícího vřeteníku	200 mm
Samočinný příčný posuv brousícího vřeteníku	0 – 0,05 mm v úvratích stolu
Samočinný příčný posuv brousícího vřeteníku při zapichování	0 – 5 mm.min ⁻¹
Dosažitelná kuželovitost	1:3
Rychlost stolu	0,05 – 4,5 m.min ⁻¹ plynule měnitelná
Pohon brousícího vřeteníku	elektromotor 2,7 kW
Půdorysná plocha stroje	1530 x 2830 mm
Váha stroje	1700 kg

2.3 Návrh nástrojů

Nástroje byly zvoleny dle požadavku na výrobu dané hřídele. Pokud bylo možné, tak byly vybírány nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami pro vyšší výkonnost řezného procesu a zkrácení času obrábění. Kompletní seznam nástrojů je uveden v tabulce 2.5. Tabulka obsahuje základní informace o nástroji a označení použité v technologickém postupu.

Tab. 2.5: Nástrojový list [14, 15, 16].

VUT FSI ÚST BRNO		NÁSTROJOVÝ LIST		HŘÍDEL	3pSTG/2
Dne: 3.4.2015		Vyhotoval: Martin MOTL		Název součásti:	Číslo výkresu:
				Polotovar: φ40-189,5 ČSN 42 0138	
Č. NÁSTROJE	ZNÁZORNĚNÍ	NÁZEV NÁSTROJE	VÝROBCE	OZNAČENÍ NÁSTROJE (Obj.č.)	MATERIÁL
N1		Soustružnický nůž	PRAMET TOOLS, s.r.o.	PWLNr 2020 K0604	OCEL
		VBD hrubovací	PRAMET TOOLS, s.r.o.	WNMG 060408E-FM	P40
N2		Soustružnický nůž	PRAMET TOOLS, s.r.o.	SVJCR 2020 K13	OCEL
		VBD dokončovací	PRAMET TOOLS, s.r.o.	VCGr 130302E-FF2	P15
N3		Středící vrták	GARANT	Středící vrták A3,15; DIN 333 (11 1000)	HSS
N4		Zapichovací nůž	PRAMET TOOLS, s.r.o.	XLcFR 160115-1,60	OCEL
		VBD zapichovací	PRAMET TOOLS, s.r.o.	LFMX 1,60-0,16EN-F1	P30
		Držák nože	PRAMET TOOLS, s.r.o.	MS-EN 2020K	OCEL
N5		Zapichovací nůž	POLDI s.r.o.	Nůž vybroušen dle tvaru zápichu G z polotovaru: Radeco obdelníkové 4x8 mm ČSN 223691	HSS
N6		Závitový nůž	PRAMET TOOLS, s.r.o.	SER 2020 K16	OCEL
		VBD závitová	PRAMET TOOLS, s.r.o.	TN16ER150M	P30
N7		Drážkovací fréza	ZPS-FN a.s.	Fréza drážkovací dvoubřitá 8x11; DIN 327 (210508.080)	HSSCo8
N8		Drážkovací fréza	ZPS-FN a.s.	Fréza drážkovací dvoubřitá 10x13; DIN 327 (210508.100)	HSSCo8
N9		Brusný kotouč	Tyrolit CEE k. s.	Přesný vnější kulatý brusný kotouč 350x32x127 (59 4225)	Al ₂ O ₃

Zhodnocení volby nástrojů

Soustružnický nůž PWLNr 2020 K0604 (N1) byl zvolen jako hrubovací nůž pro soustružnické operace. Nástroj má ideální tvar a rozměry pro upnutí do nožové hlavy soustruhu. Ke zvolenému soustružnickému noži byla z doporučených typů výrobce vybrána odpovídající potřebná VBD pro dané operace. Trigonový tvar VBD má potřebný tvar pro hrubovací operace a je vhodný pro obrábění ploch válcových i ploch na ně kolmých, jelikož

úhel nastavení je 95° , úhel vedlejšího nastavení je 5° a úhel špičky je 80° . Rádus špičky je na této VBD 0,8 mm. Pro obrábění daného materiálu je nejvhodnější použití VBD z materiálu P40, který má nejuniverzálnější použití a je určen pro obrábění především materiálů skupiny P, M a K středními řeznými rychlostmi. Doporučený posuv pro tuto VBD je v rozmezí 0,1 až 0,35 mm.ot⁻¹ při možné odebírané tříске v rozmezí 0,8 až 3,0 mm [14].

Soustružnický nůž SVJCR 2020 K13 (N2) byl zvolen pro dokončovací soustružnické operace. Nástroj má ideální tvar pro upnutí do nožové hlavy soustruhu. Ke zvolenému soustružnickému noži byla z doporučených typů výrobce vybrána odpovídající potřebná VBD pro dané operace. VBD má tvar kosodélníku s úhlem špičky 35° , který je vhodný pro dokončovací operace, kde je odebírána malá tříska, úhel nastavení je u tohoto nože 93° a úhel vedlejšího nastavení je 52° . Tvar destičky je vhodný pro dokončovací obrábění různých tvarových ploch. Pro obrábění daného materiálu byla jako nejvhodnější zvolena VBD z materiálu P15, který má univerzální použití s dobrou provozní spolehlivostí a je především určen pro obrábění materiálů skupiny P a M středními a vyššími řeznými rychlostmi. Doporučené hodnoty posuvu jsou v rozmezí 0,04 až 0,1 mm.ot⁻¹ při odebírání třísky v rozsahu 0,2 až 1,5 mm [14].

Středící vrták A3,15 (N3) byl zvolen pro vytvoření středících důlků pro upnutí pomocí hrotu při soustružení a následně i pro broušení mezi hroty. Nástroj má válcovou část o průměru 3,15 na zavrtání, která přechází v kuželovou část končící na průměr 8 pro vytvoření kužele o vrcholovém úhlu 60° . Nástroj je vybroušen z plného materiálu HSS a podbroušen, pro odvod třísek je opatřen spirálovou drážkou. Výrobce doporučuje řeznou rychlost pro materiál ČSN 12 050 je 25 m.min⁻¹. Je také vhodný pro použití při obrábění s řezným olejem nebo emulzí [15].

Zapichovací nůž XLCFR 160115–1,6 (N4) byl zvolen pro vytvoření zápichu pro pojistný kroužek a pro drážku výběhu závitu. Nástroj se skládá ze tří částí, soustružnické planžety, držáku a VBD. Břitová destička je v planžetě upnuta pouze nasunutím, při obrábění je držena řeznými silami. Materiál břitové destičky je P30, který je univerzálním materiálem s dobrou provozní schopností pro obrábění především materiálů M, P a K při použití středních řezných rychlostí. Doporučený posuv pro tuto VBD je v rozmezí od 0,04 až 0,1 mm.ot⁻¹ [14].

Zapichovací nůž Radeco (N5) byl zvolen pro vytvoření zápichů tvaru G o velikosti 2,5 x 0,3. Nůž bude vybroušen v brusárně do požadovaného tvaru z nakoupeného polotovaru. Materiál tohoto nože je HSS. Doporučená řezná rychlost pro danou ocel je v rozmezí 15 až 18 m.min⁻¹ a doporučená velikost posuvu leží v rozmezí 0,8 až 1,6 mm.ot⁻¹ [16, 17].

Závitový nůž SER 2020 K16 (N6) byl zvolen pro obrobení závitu. Nástroj má potřebnou velikost a tvar pro upnutí do nožové hlavy. Pro vyřezání závitu byla zvolena břitová destička odpovídajícího tvaru daného profilu metrického závitu. Materiál VBD je P30, který je univerzálním materiálem pro obrábění především materiálů M, P a K a je předurčen zejména pro soustružení závitů při použití středních řezných rychlostí [14].











Drážkovací fréza dvoubřitá (N7, N8) byla zvolena pro vyfrézování drážky pro pero. Nástroj má na čele dva nesouměrné břity, z čehož jeden prochází přes střed frézy pro možnost zavrtání se do plného materiálu. Materiál frézy s válcovou stopkou je HSSCo8 obsahující 8% kobaltu. Šroubovice má úhel stoupání 10° a úhel čela břitu je 4° . Doporučený posuv na zub u této frézy pro daný materiál je v rozmezí 0,01 až 0,06 mm a doporučená řezná rychlost je v rozmezí 25 až 30 m.min⁻¹ [16, 17].

Brousicí kotouč (N9) byl zvolen pro broušení potřebných ploch na hřídeli. Kotouč se vyznačuje vysokým řezným výkonem a zkrácenou dobou broušení při nízkém stupni opotřebení. Je určený pro broušení na kulato a vhodný pro broušení kalených ocelí. Při broušení je bezpodmínečně nutné použití procesních kapalin pro chlazení a mazání. Materiál kotouče je Al_2O_3 s keramickým pojivem. Maximální řezná rychlost předepsaná výrobcem je $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, doporučená leží v rozmezí od 25 do $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Počet otáček obrobku při broušení je výrobcem doporučen na 120 min^{-1} [15].

2.4 Návrh pomůcek

Pomůcky byly zvoleny dle potřeby pro výrobu dané součásti. V tabulce 2.6 jsou zaznamenány jednotlivé pomůcky a označeny značením použitým v technologickém postupu.

Tab. 2.6: Pomůcky [15, 18, 19, 20, 21, 22].

VUT FSI ÚST BRNO		POMŮCKY		HŘÍDEL
Dne: 3.4.2015		Vyhotovil: Martin MOTL	Číslo výkresu: 3pSTG/2	
Č. POMŮCKY	ZNÁZORNĚNÍ	NÁZEV POMŮCKY	OZNAČENÍ POMŮCKY (Obj.č.)	VÝROBCE
P1		Posuvné měřítko	ABSOLUTE AOS DIGIMATIC 0 - 200 mm (500-182-30)	MITUTOYO ČESKO, s. r. o.
P2		Otočný hrot	Otočný soustružnický hrot MK 4 (32 0675)	BISON-BIAL S.A
P3		Mikrometr	DIGIMATIC Třmenový mikrometr s ochranou IP65 25-50 mm (293-231-30)	MITUTOYO ČESKO, s. r. o.
P4		Drsnoměr	Drsnoměr Surftest SJ-210 (178-560-01D)	MITUTOYO ČESKO, s. r. o.
P5		Závitový kalibr	Mezní závitový kroužek - Dobrý M24x1,5-6g, DIN 13	KINEX CZ, s. r. o.
P6		Závitový kalibr	Mezní závitový kroužek - Zmetkový M24x1,5-6g, DIN 13	KINEX CZ, s. r. o.
P7		Prizmatický svěrák	Strojní samostředící čelistový Svěrák, ČSN 243137, 125 mm (243137)	Vihorlat n.p. Snina
P8		Kruhoměr	Kruhoměr ROUNDTTEST RA-120 (211-542D)	MITUTOYO ČESKO, s. r. o.
P9		Konzervační olej	KONKOR 103, ISO 6743 ISO-L-R	PARAMO, a.s.
P10		Voskovaný papír	Balící papír voskovaný - laminovaný	Novák-papír s.r.o

Zhodnocení volby pomůcek

Posuvné měřítko AOS Digimatic (P1) bylo zvoleno o rozsahu měření 0 až 200 z důvodu potřeby měřit také délku hřídele, která činí 186,5. Posuvné měřítko bude používáno na každém pracovišti pro základní měřicí operace. Zvoleno bylo s digitálním odečítáním měřených hodnot z důvodu přesnějšího a rychlejšího měření. Přesnost posuvného měřítka je výrobcem udávána $\pm 0,02$, číslcový krok je po 0,01. Posuvné měřítko je vybavené indukčním typem snímače používaným v nejpřesnějších posuvných měřítkách odolných vůči vodě a jiným nečistotám na povrchu odečítacího pravítka, detekce signálu jimi není ovlivněna [15].

Otočný hrot (P2) byl zvolen pro potřebu pomocného upnutí při soustružení. Velikost upínacího Morse kužele je MK4 pro přímé upnutí do koníku soustruhu bez nutnosti použití redukční vložky. Úhel špičky hrotu je 60° . Hrot je určen pro soustruhy na hrubovací i jemné dokončovací soustružnické operace. Konstrukce je lehkého provedení bez nutnosti údržby s maximální chybou obvodového házení 0,005 mm. Maximální hmotnost upínaného obrobku je 800 kg [13].

Mikrometr Digimatic (P3) byl zvolen pro potřebu měření válcových ploch obráběných na soustruhu a následně i broušených. Mikrometr bude používán u soustruhu, na měřicím pracovišti a u brusky na kulato. Zvolen byl s digitálním odečítáním měřených hodnot z důvodu přesnějšího a rychlejšího měření. Přesnost mikrometru je výrobcem udávána $\pm 0,001$. Mikrometr disponuje vynikající ochranou vůči vodě a prachu, což umožňuje použití i v místech, kde je prováděno chlazení a mazání procesní kapalinou [15].

Drsnoměr Surftest SJ-210 (P4) byl zvolen pro kontrolu drsnosti obrobených ploch na měřicím pracovišti. Je to digitální přenosný přístroj na měření jakosti povrchu pro jednoduché a přesné měření. Snímací hrot je diamantový s poloměrem patky měření 40 [15].

Závitový kalibr (P5, P6) byl zvolen pro kontrolu přesnosti vyráběného závitu, pro přesnou kontrolu je zapotřebí dvou mezních kroužků, dobrého a zmetkového. Kalibry budou používány u soustruhu při výrobě závitu a následně i na měřicím pracovišti při kontrole [16].

Prizmatický svěrák (P7) byl zvolen pro jednoduché a přesné upínání hřídelí při frézování drážek pro pera. Strojní svěrák s prizmatickými čelistmi je robustní konstrukce o hmotnosti přibližně 30 kg. Čelisti svěráku jsou otočné a mají po obou stranách jednu vodorovnou a jednu svislou prizmatickou drážku [17].

Kruhoměr Roundtest Ra-120 (P8) byl zvolen pro kontrolu válcovitosti a obvodového házení broušených válcových ploch hřídele na měřicím pracovišti po kompletním obrobení hřídele. Kruhoměr má kompaktní tělo s integrovanou elektronikou a tiskárnou, proto je možné tento přístroj používat i ve stísněných podmínkách přímo na dílně. Přístroj je jednoduše ovladatelný a vyhodnocené údaje zobrazuje na velkém LCD displeji [15].

Konzervační olej Konkor 103 (P9) byl zvolen pro konzervaci hřídelí před zabalením a připravením na odvoz. Zvolený olej je určen k ochraně výrobků ze železných kovů proti atmosférické korozi, tvoří ochrannou vrstvu s dlouhou dobou konzervační účinnosti [18].

Voskovaný papír laminovaný (P10) byl zvolen pro zabalení hřídele po zakonzervování pro ochranu před poškrábáním a otlučením při manipulaci a přepravě. Papír je povoskovaný a laminovaný, vhodný pro široké spektrum použití i ve strojírenském průmyslu [19].

3 TPV DOKUMENTACE

3.1 Výkres součásti

Podle potřeby použití byl navrhnut tvar hřídele a její potřebné hlavní rozměry. Podle tohoto návrhu byl v programu Autodesk Inventor Professional 2015 vytvořen 3D model budoucí hřídele, ze kterého byl následně vytvořen v téže programu výkres součásti. Do výkresu součásti byly dle norem a také podle potřeby doplněny ze strojnických tabulek a zkušeností získaných během studia a z praktických zkušeností různé rozměrové a geometrické tolerance. Výkres součásti je přiložen v příloze 1.

3.2 Technologický postup výroby

Veškeré prováděné operace potřebné pro výrobu dané hřídele jsou uvedeny v technologickém postupu (příloha 2). V technologickém postupu jsou uvedeny podrobně všechny potřebné operace, které se na hřídeli v průběhu výroby provádějí. Ke každému pracovišti jsou přiděleny jednotlivé operace a k nim potřebné nástroje a pomůcky. Pro vyrobení dané hřídele je zapotřebí celkem 6 pracovišť, mezi nimiž je hřídel postupně předávána. Přehled jednotlivých operací je shrnut v tabulce 3.1.

Sklad: Jako prvním místem, kde výroba hřídele začíná je sklad. Do skladu je dodán materiál v podobě 1 m dlouhých tyčí, pracovník ve skladu dle instrukcí v technologickém postupu tyče nadělí na pásové pile na délku 189,5. K dělení použije pásovou pilu PILOUS ARG 220. Do skladu je také hřídel předána po kompletním obrobení a přeměření, zde dojde k jejímu zakonzervování, zabalení a připravení na odvoz.

Měřicí pracoviště: Na tuto dílnu je hřídel předána vždy po ukončení prací na jednotlivých pracovištích. Zde je hřídel kontrolována, aby se vyloučily zmetkové součásti, které se buď dají ještě opravit na předcházejících pracovištích, nebo je zmetkový kus vyřazen a musí se vyrobit nový. V případě výroby řešené hřídele, je předána na toto pracoviště hřídel vždy po ukončení operací na jednotlivých pracovištích, aby byla překontrolována předchozí práce. Na měřicí pracoviště je hřídel předána po nařezání na délku, aby bylo zkontrolováno, zda všechny hřídele mají délkový rozměr v požadované toleranci. Následně je sem opět dopravena po osoustružení, kdy se kontrolují jednotlivé obrobené součásti, zda jejich rozměry leží v předepsané toleranci a zda jejich kvalita povrchu odpovídá požadavkům. Po ofrézování je hřídel opět převezena na přeměření vyrobených drážek a kontrolu jejich povrchu. Po operaci broušení je hřídel na měřicím pracovišti kompletně zkontrolována, zda vyhovuje požadavkům dle výkresové dokumentace a je předána na expedici.

Obrobna: Po nařezání a přeměření je hřídel předána na obrobnu, kde bude kompletně osoustružena na soustruhu SV 18 RD, TOS Trenčín dle výkresu a technologického postupu, kde jsou předepsány jednotlivé operace. Na hřídeli je nejdříve zarovnáno jedno čelo, do kterého je navrtán středící důlek, který je potřebný pro upnutí při soustružení a následně i pro broušení. Po následném upnutí do sklíčidla a podepření hrotem je součást ohrubována, při použití hrubovacího nože, na rozměry s požadovanými přídávky. Tyto přídávky jsou následně dokončujícím soustružením, za použití hladícího nože, odebrány na potřebné rozměry.

Po obrobení válcových ploch jsou soustruženy zápichy a sražení hran. Předposlední prováděnou operací z první strany je vyřezání závitu a jako poslední se odstraní ořepy. Následně je hřídel otočena a osoustružena na požadovanou celkovou délku a opět navrtán

středící důlek. Po navrtání je hřídel z druhé strany ohrubována a dokončena na požadované rozměry. Následně je vysoustružen zápich, sražený hrany a odstraněny otřepy.

Frézovna: Z měřicího pracoviště, kde byla hřídel přeměřena po osoustružení, je předána do frézovny na frézku FA 3 V, TOS Olomouc. Na stole frézky je ustaven a vyrovnán svěrák s prizmatickými čelistmi, do kterého je hřídel upnuta za osoustružený průměr 35,3. Svěrák je takzvaně samostředící, tudíž vždy po upnutí je hřídel ustavena její podélnou osou vždy kolmo k ose otáčení frézy a rovnoběžně se směrem posuvu stolu frézky. Po upnutí jsou do hřídele vyfrézovány drážky pro pera dvoubřitou drážkovací frézou na požadované rozměry. Po dokončení operace frézování a po odjehlení je hřídel opět předána na měřicí pracoviště na zkontrolování drážek.

Kalírna: Hřídel je zapotřebí pro získání požadovaných mechanických vlastností povrchově kalit. Jelikož firma vyrábějící tuto hřídel nemá k dispozici kalící pracoviště, je hřídel poslána do jiné firmy, kde hřídel povrchově zakalí na požadovanou tvrdost, která je u této hřídele 52 - 4 HRC. Kalení bude provedeno vysokofrekvenčním indukčním ohřevem do hloubky $1,5 \pm 0,2$ mm [23].

Brusírna: Poté co je hřídel zakalena v kooperaci, je předána do brusírny na brusku BUA 20/450, TOS Hostivař. Na této brusce je upnuta za středící důlky mezi dva hroty. Na hřídeli jsou následně broušeny dva průměry určené pro nalisování ložisek a další dva průměry pro uložení převodových kol. Broušení je poslední obráběcí operací, která je na této hřídeli prováděna. Po obroušení je předána na konečné přeměření na měřicí pracoviště.

Tab. 3.1: Tabulka souhrnu operací.

Číslo operace	Označení stroje / pracoviště	Dílna	Popis práce
00	Pásová pila ARG 220 Pilous	Sklad	Řezat materiál na délku
01	OTK	Měř. prac.	Kontrolovat délku polotovaru
02	Soustruh SV 18 RD TOS Trenčín	Obrobna	Soustružit jednotlivé průměry, zápichy a řezat závit, srazit hrany a odstranit otřepy
03	OTK	Měř. prac.	Kontrola rozměrů osoustružených ploch a jejich povrchu, kontrolovat závit
04	Frézka FA 3 V TOS Olomouc	Frézovna	Frézovat drážky pro pera
05	OTK	Měř. prac.	Kontrolovat rozměry a povrch drážek
06	Kooperace	Kalírna	Poslat do kooperace povrchově kalit
07	Bruska BUA 20/450 TOS Hostivař	Brusírna	Brousit při upnutí mezi hroty
08	OTK	Měř. prac.	Kontrolovat obroušené průměry a celkově celou hřídel
09	Sklad	Sklad	Zakonzervovat, zabalit a připravit na odvoz

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

4.1 Výpočet spotřeby materiálu

Objem polotovaru:

$$V_P = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L_P}{4} \quad (4.1)$$

Kde: D - průměr polotovaru [mm]
L_P - délka polotovaru [mm]

$$V_P = \frac{\pi \cdot 40^2 \cdot 189,5}{4} = \mathbf{238\,132,723\,mm^3} \quad (4.1)$$

Hmotnost polotovaru:

$$m_P = V_P \cdot \rho \cdot 10^{-9} \quad (4.2)$$

Kde: V_P - objem polotovaru [mm³]
ρ - hustota oceli [kg.m⁻³]

$$m_P = 238\,132,723 \cdot 7\,850 \cdot 10^{-9} = \mathbf{1,869\,kg} \quad (4.2)$$

Hmotnost hotové součásti:

Hmotnost byla zjištěna v programu Autodesk Inventor Professional 2015 a činí 1,064 kg, viz obrázek 1.2.

Ztráta materiálu vzniklá obráběním jedné hřídele:

$$Z_m = m_P - m_S \quad (4.3)$$

Kde: m_P - hmotnost polotovaru [kg]
m_S - hmotnost hotové součásti [kg]

$$Z_m = 1,869 - 1,064 = \mathbf{0,805\,kg} \quad (4.3)$$

Počet kusů polotovarů z jedné 1 m dlouhé tyče:

$$P_{PT} = \frac{L_T}{L_P + u} \quad (4.4)$$

Kde: L_T - délka tyče [mm]
L_P - délka polotovaru [mm]
u - délka průřezu materiálu [mm]

$$P_{PT} = \frac{1000}{189,5 + 0,9} = 5,252 \Rightarrow \mathbf{5 \text{ ks}} \quad (4.4)$$

Celkový počet tyčí pro zadanou sérii hřídelí:

$$P_T = \frac{P_{HS}}{P_{PT}} \quad (4.5)$$

Kde: P_{HS} - počet hřídelí v sérii [ks]
 P_{PT} - počet kusů z tyče [ks]

$$P_T = \frac{20}{5} = \mathbf{4 \text{ ks}} \quad (4.5)$$

Délka nevyužitého konce tyče:

$$L_Z = L_T - P_{PT} \cdot (L_P + u) \quad (4.6)$$

Kde: L_T - délka tyče [mm]
 P_{PT} - počet kusů z tyče [ks]
 L_P - délka polotovaru [mm]
 u - délka průřezu materiálu [mm]

$$L_Z = 1\,000 - 5 \cdot (189,5 + 0,9) = \mathbf{48,0 \text{ mm}} \quad (4.6)$$

Celková hmotnost potřebných tyčí:

$$m_T = P_T \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L_T \cdot \rho \cdot 10^{-9} \quad (4.7)$$

Kde: P_T - počet tyčí celkem [ks]
 D - průměr tyče [mm]
 L_T - délka tyče [mm]
 ρ - hustota oceli [kg.m⁻³]

$$m_T = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 40^2}{4} \cdot 1\,000 \cdot 7\,850 \cdot 10^{-9} = \mathbf{39,458 \text{ kg}} \quad (4.7)$$

Celková hmotnost série hřídelí:

$$m_{serH} = P_{HS} \cdot m_S \quad (4.8)$$

Kde: P_{HS} - počet hřídelí v sérii [ks]
 m_s - hmotnost hotové součásti [kg]

$$m_{serH} = 20 \cdot 1,064 = \mathbf{21,280\ kg} \quad (4.8)$$

Celková hmotnost odpadu:

$$m_{OC} = m_T - Q_{HC} \quad (4.9)$$

Kde: m_T - celková hmotnost tyčí [kg]
 m_{serH} - celková hmotnost hřídelí [kg]

$$m_{OC} = 39,458 - 21,280 = \mathbf{18,178\ kg} \quad (4.9)$$

Podíl odpadu z celkové objednávky materiálu v procentech:

$$P_o = \frac{m_{OC}}{m_T} \cdot 100\ \% \quad (4.10)$$

Kde: m_{OC} - celková hmotnost odpadu [kg]
 m_T - celková hmotnost tyčí [kg]

$$P_o = \frac{18,178}{39,458} \cdot 100 = \mathbf{46,069\ \%} \quad (4.10)$$

Pro výrobu této série 20 ks hřídelí je potřeba objednat 4 ks ocelových tyčí o průměru 40 a délce 1 000.

4.2 Výpočet ceny spotřeby materiálu

Náklady na pořízení materiálu:

$$N_m = N_o \cdot m_T \quad (4.11)$$

Kde: N_o - cena materiálu (ocel 12 050, cena 27,46 Kč za 1kg)
 m_T - celková hmotnost tyčí [kg]

$$N_m = 27,46 \cdot 39,458 = \mathbf{1\ 083,572\ Kč} \quad (4.11)$$

Náklady na materiál 1 kusu polotovaru:

$$N_p = N_o \cdot m_p \quad (4.12)$$

Kde: m_P - hmotnost polotovaru [kg]
 N_O - cena materiálu (ocel 12 050, cena 27,46 Kč za 1kg)

$$N_P = 27,46 \cdot 1,869 = \mathbf{51,322\text{ Kč}} \quad (4.12)$$

Ztráty vzniklé dělením tyčí a z nevyužitelných konců tyčí:

$$Z_T = N_m - P_{PS} \cdot N_P \quad (4.13)$$

Kde: N_m - náklady na materiál celkem [Kč]
 P_{PS} - počet polotovarů v sérii [ks]
 N_P - náklady na materiál 1 kusu polotovaru [Kč]

$$Z_T = 1\,083,572 - 20 \cdot 51,322 = \mathbf{57,132\text{ Kč}} \quad (4.13)$$

Ztráty připadající na jeden kus polotovaru:

$$Z_P = \frac{Z_T}{P_{PS}} \quad (4.14)$$

Kde: P_{PS} - počet polotovarů v sérii [ks]
 Z_T - celkové vzniklé ztráty z tyčí [Kč]

$$Z_P = \frac{57,132}{20} = \mathbf{2,357\text{ Kč}} \quad (4.14)$$

Hrubá cena jednoho kusu polotovaru:

$$N_{PH} = N_P + Z_P \quad (4.15)$$

Kde: N_P - náklady na materiál 1 kusu polotovaru [Kč]
 Z_P - Ztráty připadající na jeden kus polotovaru [Kč]

$$N_{PH} = 51,322 + 2,357 = \mathbf{53,679\text{ Kč}} \quad (4.15)$$

Příjem z ocelového odpadu:

$$I_o = O_o \cdot m_{OC} \quad (4.16)$$

Kde: O_o - výkupní cena ocelového odpadu (3,50 Kč za 1kg)
 m_{oc} - celková hmotnost odpadu [kg]

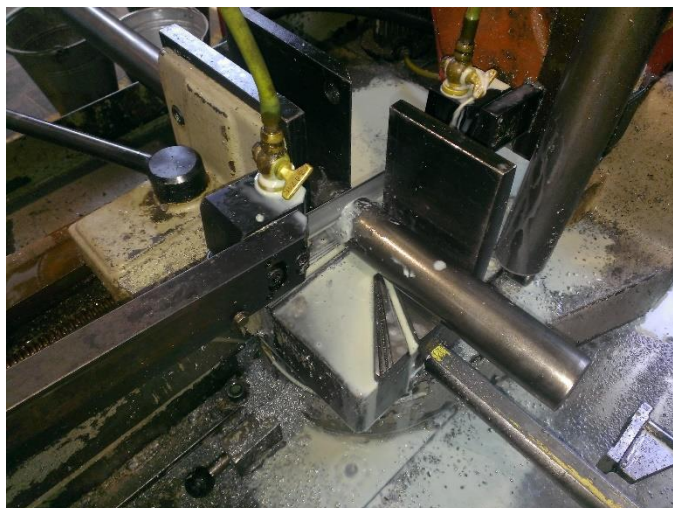
$$I_o = 3,50 \cdot 18,178 = \mathbf{63,623 \text{ Kč}} \quad (4.16)$$

Materiál pro výrobu 20 kusů řešené hřídele bude nakoupen za cenu 1 083,572 Kč. Jeden polotovar materiálu o hmotnosti 1,874 kg cenově vychází na 51,460 Kč, po přičtení ceny ze ztrát při dělení tyčí a zbytku tyče se cena za jeden polotovar zvýší na 54,179 Kč. Ze získaného ocelového odpadu při výrobě této série hřídelí je možné získat odvezením do výkupu částku 63,623 Kč.

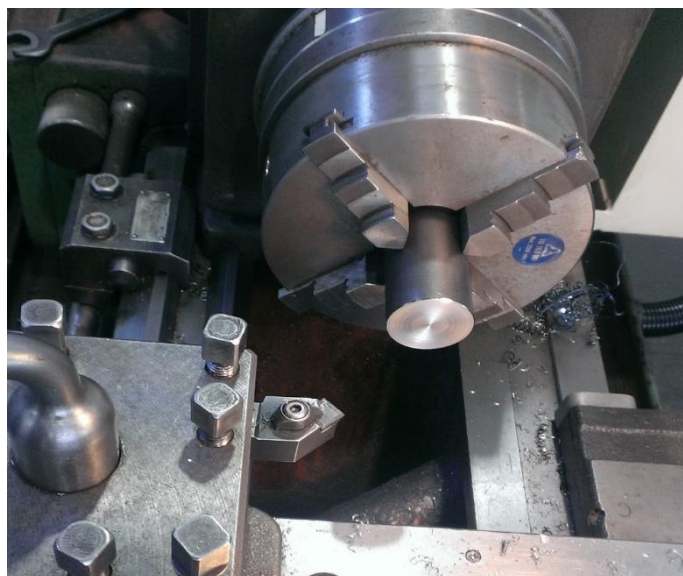
5 VÝROBA VZORKU HŘÍDELE

5.1 Výroba součástí

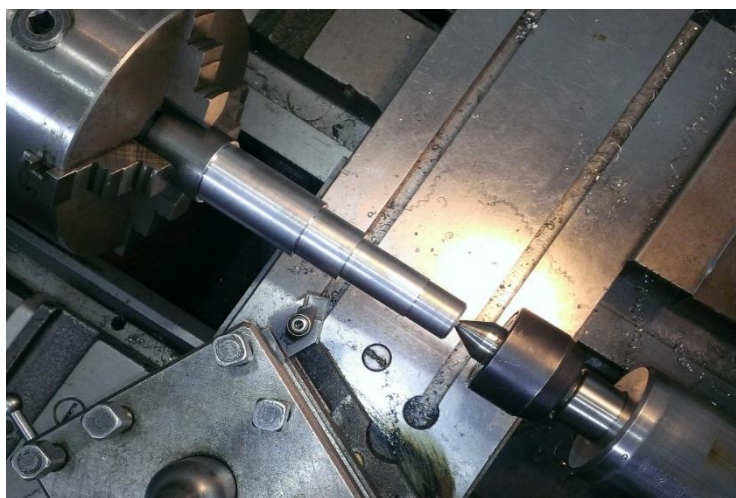
Vzorová součást byla vyrobena v prostorách školních dílen VUT v Brně. Výroba byla realizována postupně od oddělení polotovaru z tyče, osoustružení až po vyfrézování drážek. Pásovou pilou byl polotovar oddělen z tyče na potřebnou délku. Použitá pásová pila byla od firmy BOMAR, spol. s r.o. typu STG 220 G. Následně byl polotovar přenesen na pracoviště soustruhu, kde byl postupně obráběn. Soustruh použitý při výrobě byl SV 18 RD, TOS Trenčín. Po osoustružení byl polotovar hřídele přenesen na pracoviště frézky, kde byly zhotoveny dvě drážky pro pera. Frézka použitá při výrobě byla FV 25, TOS Olomouc. Vzorová součást byla vyrobena pouze po frézovací operace. Po tomto ofrézování by následovalo povrchové kalení a broušení, což ve školní dílně nebylo možné provést a proto bylo vynecháno. Na následujících obrázcích (obr. 5.1 až obr. 5.6) je znázorněn průběh výroby vzorku hřídele.



Obr. 5.1: Dělení polotovaru z tyče.



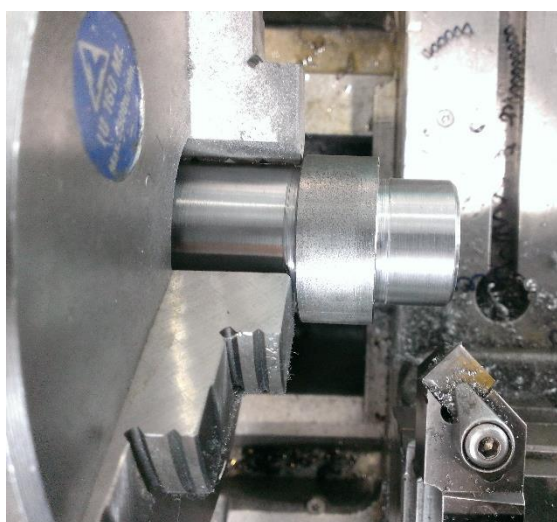
Obr. 5.2: Soustružení čela hřídele.



Obr. 5.3: Hřídel po ohrubování jednotlivých průměrů.



Obr. 5.4: Hřídel po dokončení jednotlivých průměrů a soustružení kuželů a sražení.



Obr. 5.5: Hřídel po dokončení soustružení z druhé strany.



Obr. 5.6: Frézování drážek.

5.2 Zhodnocení výroby vzorku

Výroba vzorku proběhla, jak bylo již zmíněno, v prostorách školní dílny VUT v Brně. Výroba celkově proběhla bez větších komplikací. Dělení polotovaru z tyče proběhlo bez problémů. Následné soustružení až na občasné drobné problémy s kvalitou povrchu také proběhlo dobře. Frézování drážek proběhlo taktéž bez problémů. Vyhotovená součást (obr. 5.7) je obrobena pouze po frézovací operace, kalení a broušení bylo z důvodu nedostupnosti vynecháno.



Obr. 5.7: Vzorek vyrobené součásti.

6 DISKUZE

Úvodem této práce je seznámení se hřídelí, které se týká tato práce, a přiblížení použití hřídele. Dále byl zvolen materiál vhodný pro výrobu součástí, kterým je nelegovaná konstrukční uhlíková ocel 12 050. Tato ocel je vhodná ke kalení, čehož je v průběhu výroby hřídele využito a hřídel je na povrchu kalená. Povrchové kalení je u takovýchto součástí možná nejvhodnějším řešením pro získání pevné, pružné a odolné hřídele proti opotřebení, jelikož na povrchu je tvrdá kalená vrstva materiálu a hřídel ve svém jádru zůstává měkká a pružná. Při použití kalení v celém objemu by mohlo docházet k výrazné deformaci při kalení a hřídel by po zakalení byla křehká a tudíž náchylná k prasknutí, což je u hřídelí nežádoucí.

Posouzením technologičnosti konstrukce bylo zjištěno, že hřídel je na univerzálních strojích vyrobitelná běžnými způsoby. Zvoleným polotovarem je přířez z tyče válcované za tepla, bylo by možné zvolit i jiný druh polotovaru jako například odlitek či výkovek, ale z důvodu výroby malého počtu kusů se tyto polotovary ekonomicky nevyplátí. Pokud by byl použit jako polotovar výkovek, musel by být vyroben nástroj pro jeho vykování, kterým by byl polotovar na lise či bucharu kován. Výroba takového nástroje se pro malosériovou výrobu cenově nevyplátí. Mohlo by být také použito kování příčným klínovým válcováním, ale tato metoda se také cenově nevyplátí, metoda je také převážně vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Použití jako polotovaru odlitek je také způsob výroby polotovarů převážně pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Vyrobení modelu pro lití například do písku, nebo vyrobení formy patřičného tvaru je taktéž cenově nevýhodné a ušetřením materiálu a zkrácením času obrábění by se nám náklady na výrobu odlitků nevrátily.

Navrhnutými stroji pro výrobu dané hřídele jsou klasické univerzální stroje. Zvolená pásová pila je již novějšího typu, je to univerzální stroj, na kterém se dají řezat různé druhy materiálů různých velikostí a tvarů, také je možné řezat pod různými úhly. Soustruh je také univerzální stroj, na kterém se dají obrábět rotační součásti různých druhů a tvarů. Tento druh soustruhů má širokou škálu využití v jednoduché kusové výrobě, jelikož je lehce ovladatelný a má mnoho funkcí, které se použitím přídatných zařízení ještě rozšíří. Zvoleným strojem pro vyrobení drážek na hřídeli je univerzální konzolová frézka se svislým vřetenem. Tato frézka je vhodná pro výrobu široké škály výrobků frézováním, ale i vrtáním, které na tomto stroji lze provádět ručně vysouvací pinolou z vřetenové hlavy. Posledním zvoleným strojem je univerzální hrotová bruska. Bruska je určena pro výrobu válcových ploch, ale je možné na ní brousit i plochy kuželové, případně jinak tvarové pokud se upraví tvar brousícího kotouče.

Zvolené druhy nástrojů jsou nejčastěji používané pro obrábění jak na klasických univerzálních strojích, tak také na moderních CNC obráběcích strojích. Použitím nástrojů s VBD lze zvýšit řezné rychlosti a tím dojde ke zkrácení výrobních časů, což vede k vyšší výrobě. Dojde také ke zlepšení výsledného obrobeného povrchu a celkově ke zvýšení přesnosti výroby. Tyto nástroje mají vyšší trvanlivost, proto vydrží obrobení více kusů a nemusí se často vyměňovat, protože častá výměna nástroje nebo jeho přebrušování prodlužuje vedlejší časy při výrobě.

Při použití moderních způsobů výroby by bylo výhodné zvolit obrábění na CNC strojích. Pořízené těchto strojů je sice cenově náročnější, ale výrazně to zkrátí výrobní časy a tudíž i klesnou náklady na mzdy pracovníků, zároveň se také zvedne výrobnost a zvýší výnosy. Při výrobě většího počtu kusů, nebo složitějších součástí je použití CNC stroje levnější a rychlejší než obrábění na klasických univerzálních strojích. Výsledná cena výroby na CNC strojích pak může být nižší, než kdyby byly součásti vyráběny na univerzálních strojích.

ZÁVĚR

V této bakalářské práci bylo řešeno obrábění rotační součásti, typu hřídel, na univerzálních strojích. Jako vzorová součást byla zvolena hřídel, které by se mělo vyrábět 20 kusů. V úvodní části této práce je představení součásti z hlediska tvaru, použití a použitého materiálu. Použití této hřídele je jako vývod z převodové skříně.

Materiálem použitým pro řešenou hřídel byla zvolena konstrukční ušlechtilá uhlíková ocel 12 050, která je pro tyto druhy výrobků používána nejčastěji. Obrobitelnost zvoleného materiálu je dobrá, tudíž nijak nekomplikuje výrobu standardními nástroji a postupy.

Jako polotovár byl zvolen přířez z tyče válcované za tepla. Polotovár bude řezán na délku 189,5 z tyče o průměru 40, která bude mít délku 1 m. Pro zhotovení dvaceti kusů hřídelí bude potřeba 4 tyče o délce 1 m, přičemž z každé tyče bude nařezáno 5 polotovarů.

K této hřídeli byla vytvořena kompletní výrobní dokumentace obsahující výkres součásti a technologický postup výroby na zvolených strojích. Stroj zvolený na řezání polotovarů z tyče je pásová pila PILOUS ARG 220, která je vhodná pro řezání širokého spektra materiálů a jeho tvarů. Jako soustruh byl zvolen univerzální soustruh SV 18 RD, TOS Trenčín, je vhodný pro všeobecné obrábění, především kovů. Disponuje plynulou regulací otáček vřetene a posuvovým zařízením pro výrobu závitů mnoha druhů, vhodný je zejména pro kusovou, nebo malosériovou výrobu. Pro výrobu drážek pro pera byla zvolena univerzální konzolová frézka FA 3 V, TOS Olomouc, která má vřeteno ve svislé poloze s možností naklápění a s výsuvnou pinolou. Pro broušení hřídele byla zvolena hrotová bruska BUA 20/450, TOS Hostivař, určena je pro broušení obrobků do kulata válcových ale i kuželových.

Zvolenými nástroji jsou nástroje v současné době běžně používané a byly vybírány tak, aby splnily požadavky pro obrábění. Pro zefektivnění výroby byli voleni přednostně nástroje s VBD. Dále byly navrženy měřicí pomůcky a pomocné zařízení pro výrobu součásti.

Jako součást práce byla vyrobena vzorová hřídel, výroba proběhla v prostorách školních dílen VUT v Brně. Realizována byla od oddělení polotovaru z tyče po vyfrézování drážek. Kalení a následné broušení bylo z důvodu nedostupnosti v dílnách vynecháno.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 223 s. ISBN 978-80-7204-636-2.
2. PŘIBIL, Erich. BOHDAN BOLZANO S. R. O. *Technická příručka: Přehled vlastností oceli C45* [online]. 2007 [vid. 2015-04-27]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_EN10083-1-Prehled-chem-sloz.pdf
3. TUMLIKOVO.CZ. *Technologie: Materiály* [online]. 2010 [vid. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/uslechtile-uhlikove-konstrukcni-oceli-tridy-12-jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/#more-3180>
4. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4. dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, xiv, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7
5. FERONA, a. s. *Sortimentní katalog* [online]. 2004 - 2015 [vid. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=5511>
6. JANYŠ, Bohumil a kolektiv. *Příručka soustružníka*. 2. vydání. Praha: SNTL, 1960.
7. PILOUS-PÁSOVÉ PILY, spol. s r.o. *Pásové pily na kov: ARG 220* [online]. 2004 [vid. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://pilous.cz/metal/pasove-pily-na-kov/gravitacni/arg-220/>
8. TOS TRENČÍN. *Manuál: Soustruh SV 18 RD* [vid. 2015-05-09]. Dostupné také z: http://www.tumlikovo.cz/wp-content/uploads/2010/manualy/soustruhSV18RD_RB.rar
9. LATHES. *TOS and MAS SV-18RA, SV-18RB & SV-18RD Lathes* [online]. 2015 [vid. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.lathes.co.uk/zbrojovka/page2.html> soustruh
10. STROJE HEINC. *Soustruh hrotový: SV 18 RD* [online]. Horka nad Moravou, 2015 [vid. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.stroje-heinc.cz/1945/sv-18-rd-po-generalni-oprave>
11. STROJE SVOBODA, s. r. o. *Použité stroje: Frézka FA 3 V* [online]. Blansko, 2015 [vid. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.strojesvoboda.cz/katalog.php?page=DETAIL&katalog=Stroje/Fr%C3%A9zka&key=&id=6536&ids=6553&o=1>

12. INZERT PLUS.CZ. *Stroje: Vertikální frézky FA 3 V* [online]. 2011 [vid. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://stroje.inzertplus.cz/inz/vertikalni--frezky-32949.html>
13. STROJE SVOBODA, s. r. o. *Použité stroje: Bruska BUA 20/450* [online]. [vid. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.strojesvoboda.cz/katalog.php?page=DETAIL&katalog=Stroje/Bruska/Hrotov%C3%A1&key=&id=3293&ids=3337&o=1>
14. PRAMET TOOLS, s. r. o. *Katalog soustružení 2014* [online]. Šumperk, 2014 [vid. 2015-03-23]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/download.php?id=629>
15. HOFFMANN QUALITÄTSWERKZEUGE CZ, s. r. o. *Hoffmann Group: Hlavní katalog 2013 / 2014*. Ejpvovice, 2013.
16. KOVONÁSTROJE.CZ. *Nástroje pro kovoobrábění* [online]. Bohuslavice u Zlína, 2015 [vid. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.kovonastroje.cz/Nastroje-pro-kovoobrabeni>
17. TUMLIKOVO. *Řezné podmínky nástrojů* [online]. 2010 [vid. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/rezne-podminky-nastroju>
18. MITUTOYO ČESKO, s. r. o. *Katalog měřicích přístrojů 2014 / 2015*. Teplice, 2014.
19. KINEX CZ, s. r. o. *Katalog: Měřicí nástroje a nářadí* [online]. 2014 [vid. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.kinex.cz/data/katalog.pdf>
20. NÁŘADÍ-JM. *Nástroje: Strojní Svěrák 243137* [online]. Frýdek-Místek, 2015 [vid. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.naradi-jm.cz/sverak-243137/>
21. SUPEROLEJE.CZ. *Průmyslové oleje: Paramo konkor 103* [online]. Liberec, 2015 [vid. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.superoleje.cz/paramo-konkor-103-101>
22. NOVÁK-PAPÍR S.R.O. *Produkty: Balicí papír voskováný-laminováný* [online]. Stradonice, 2015 [vid. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.papir-novak.cz/produkty/balici-papir-produkty/balici-papir-voskovany-laminovany>
23. ČERNOCH, Svatopluk. *Strojně technická příručka 2*. 12. přepr.vyd. Praha: SNTL, 1968, s.1194-2410.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CNC	[-]	Computer numerical control
ČSN	[-]	Česká státní norma
EN	[-]	Evropská norma
HB	[-]	Tvrdost dle Brinella
HSS	[-]	High speed steel
ISO	[-]	International Organization for Standardization
MK	[-]	Morse kužel
VBD	[-]	Výměnná břitová destička
HRC	[-]	Tvrdost dle Rockwella

Symbol	Jednotka	Popis
D	[mm]	Průměr polotovaru
I _o	[Kč]	Příjem z ocelového odpadu
L _P	[mm]	Délka polotovaru
L _T	[mm]	Délka tyče
L _z	[mm]	Délka nevyužitého konce tyče
N _m	[Kč]	Náklady na pořízení materiálu
N _o	[Kč]	Cena materiálu
N _P	[Kč]	Náklady na materiál
N _{PH}	[Kč]	Hrubá cena jednoho kusu
O _o	[Kč]	Výkupní cena ocelového odpadu
P _{HS}	[ks]	Počet hřídelí v sérii

Symbol	Jednotka	Popis
P_O	[%]	Podíl odpadu
P_{PS}	[ks]	Počet polotovarů v sérii
P_{PT}	[ks]	Počet polotovarů z tyče
P_T	[ks]	Počet tyčí
R_a	[μm]	Průměrná aritmetická úchylka profilu povrchu
$R_{e \text{ min.}}$	[MPa]	Mez kluzu
R_m	[MPa]	Pevnost v tahu
V_P	[mm^3]	Objem polotovaru
Z_m	[kg]	Ztráta materiálu obráběním
Z_P	[Kč]	Ztráta materiálu na jeden kus
Z_T	[Kč]	Ztráta materiálu na jednu tyč
m_{OC}	[kg]	Hmotnost odpadu celkem
m_P	[kg]	Hmotnost polotovaru
m_S	[kg]	Hmotnost součásti
$m_{ser \ H}$	[kg]	Hmotnost série hřídelí
m_T	[kg]	Hmotnost tyčí
u	[mm]	Délka průřezu
ρ	[kg.m^{-3}]	Hustota

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výkres součásti
Příloha 2 Technologický postup